

(47) PC連続桁への鉛プラグ入り
積層ゴム支承の適用

首都高速道路公団

富永 博夫

同上

○渡辺 恵志

ピーシー橋梁(株) 正会員

仁科 一義

オイレス工業(株)

伊関 治郎

1. まえがき

近年、走行性・維持管理・継手の騒音除去・振動の軽減ならびに不静定次数を高め耐震性の向上を図るためPC橋の多径間連続化が図られている。又、PC橋の多径間連続化を図る一手段としてゴム沓の採用が目立ってきている。

首都高速道路公団では、首都高速道路12号線1252工区に於いて、PC6径間連続桁に地震時水平反力の分散と温度応力への対応を目的として鉛プラグ入り積層ゴム支承(以下LRB沓)を採用した。

ここでは、将来の本格的免震橋梁への方向性も踏まえ、実際に使用するLRB沓を用いて性能確認試験を実施し、その妥当性を確認したので報告する。

2. 橋梁諸元

工事名：1252工区高架橋上部構造新設工事

路線名：首都高速12号線

橋格：1等橋(TL20, TT43)

構造形式：PC6径間連続中空床版橋

橋長：133.600

幅員：8.000

支間：21.600 + 5 @ 23.000

斜角：90°00'

水平震度：Kh = 0.26

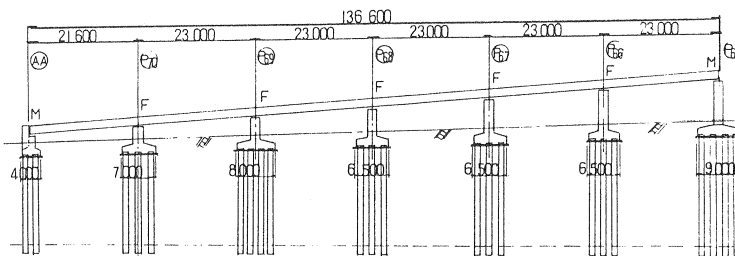
1252工区の完成全景を写真-1に、

構造一般図は、図-1に示すとおりである。



写真-1 全景

側面図



断面図

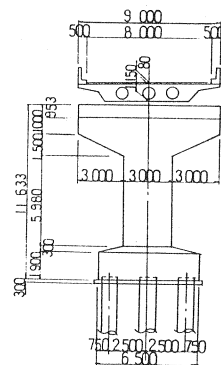


図-1 構造一般図

3. LRB沓の概要

1) 構造と機能

本橋に使用したLRB沓は、ゴムと鉄板を交互に積み重ね、加流接着した積層ゴム体に孔を明け、円柱状の鉛プラグを埋め込み一体化した弾性支承である。図-2にLRB沓の構造を示す。

— 積層ゴムの働き —

①荷重支持機能

積層ゴムは鋼板で補強されているため、ゴム単体と比べて上下方向の剛性が高く、構造物を安定させて支持する。

②水平弾性機能

水平方向には柔らかいため、地震の激しい振動をやわらげ、構造物の揺れを長周期化する。

③復元機能

地震がおさまったあと、ゴムのもっている復元力で構造物を元の位置に戻す。

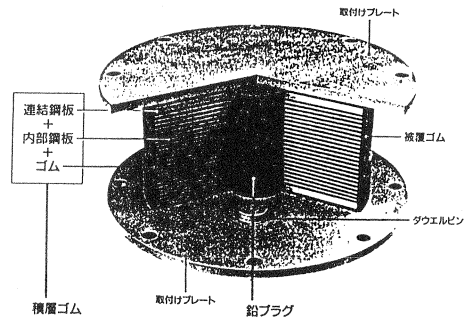


図-2 LRB沓の構造

— 鉛プラグの働き —

①振動減衰機能

積層ゴムの変形に伴って鉛プラグが塑性変形をおこし、地震エネルギーを吸収すると共に、振動をすみやかに減衰する。

②トリガー機能

一定の力が加わるまでは、鉛プラグの高い剛性で構造物を固定するので、暴風などによる地震以外の揺れを抑える。

2) 基本特性

図-3は、地震が作用したときのLRB沓の水平力と変形の履歴特性結果を示している。

ヒステリシスカープは、ほぼ完全なバイ・リニア特性で表され、構造解析上でのモデル化も比較的容易である。

又、鉛プラグの大きさを調整することにより、振動減衰機能とトリガー機能を認意に設定することができる。

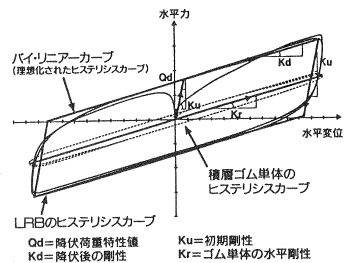


図-3 基本特性

3) 設計条件

(1) 支持条件及び設計反力

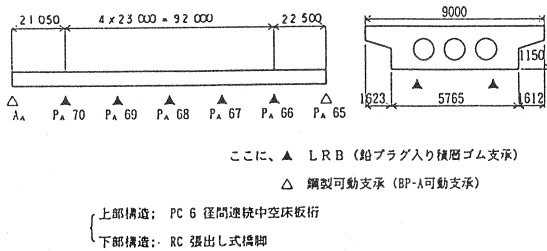


図-4 支持条件

(2) 橋脚の等価水平剛性

橋脚の等価水平剛性とは、橋脚上端に単位水平力 $P = 1.0 \text{ tf}$ を使用させた時の変位を δ とした場合、次式で計算されるものをいう。(図-5 参照)

橋脚の等価水平剛性 $K_p = 1.0 / \delta$ 尚、 δ の算定では、橋脚本体の曲げ剛性の他に基礎の回転・変位の影響を考慮した。

表-2 に、各橋脚の等価水平剛性の結果を示す。

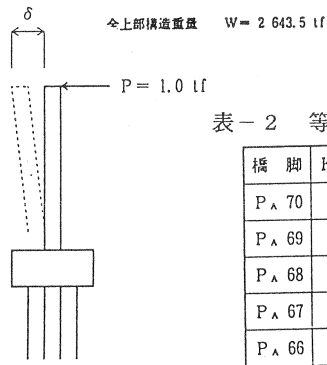


図-5 橋脚変位

表-2 等価水平剛性

橋脚	K_p tf/m
P _A 70	11 100
P _A 69	9 100
P _A 68	6 700
P _A 67	5 600
P _A 66	4 800

(3) 支承形状

本橋に使用した支承形状を図-6 及び表-3 に示す。

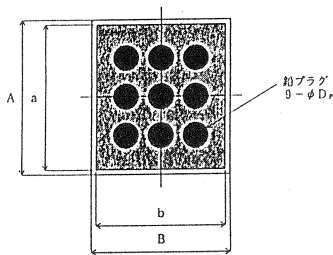


図-6 支承形状

表-3 形状寸法

平面外形寸法	有効平面寸法	鉛 径	ゴム厚	せん断弾性率
A x B (mm)	a x b (mm)	n x phi D _r (mm)	n x t _r = Σ t _r	G (kgf/cm ²)
750 x 750	730 x 730	9 x phi 100	7 x 16 = 112mm	10.0

鉛の断面積	ゴムの有効支承面積
A _p cm ²	A _s = a · b - A _p
706.9	4 918 cm ²

4. LRB 沓性能確認試験

1) 試験の目的

本試験は上部工の施工に先立ち、実際に使用するLRB沓を用いて鉛直変形特性、水平復元力特性に関して理論値と実測値を比較検討し、その妥当性を確認すること、小変形域、大変形域の安定性を把握することを目的として実施した。

2) 試験条件

試験体：実際に使用する製品10個の内1個を抜き取り試験体とした。

試験体の形状は、図-6 に示す通りである。

加振速度：水平加振試験 $V = 16 \text{ mm/s.e.}$

加振サイクル：水平震度4サイクル、動的圧縮4サイクル

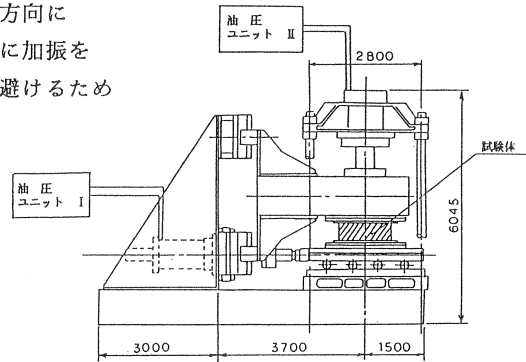
試験日時：平成3年10月11日

試験場所：オイレス工業(株) 藤沢工場

3) 試験装置と計測

(1) 試験機

本試験で使用した1000 tonf 2軸加力試験機を
 図-7に示す。1000 tonf プレス装置にて鉛直方向に
 荷重を載荷し、サーボシリンダーにより水平方向に加振を
 与える構造である。又、鉛直荷重による摩擦力を避けるため
 ローラー機構となっている。



— 能力 —

- 鉛直荷重: max 1000 tonf
- 水平荷重: max ± 300 tonf
- 水平変位: max ± 550 mm

図-7 試験機

(2) 計測

計測は、鉛直変位、水平変位、鉛直力、水平力の各項目について、図-8、図-9に示すように変位計、ロードセル、油圧計にて測定を行った。尚、センサより発生された信号は、動歪アンプを介してパーソナルコンピュータ上でA/D変換し記録した。

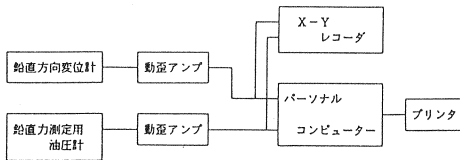


図-8 圧縮剛性計測フロー

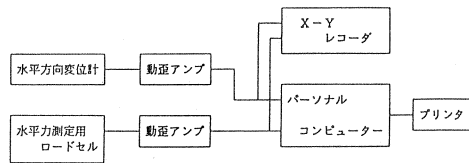


図-9 水平剛性計測フロー

4) 試験内容

(1) 試験項目と確認事項

a) 水平剛性試験

支承の機能として最も重要なものに水平方向載荷時の剛性と減衰定数がある。本試験は、せん断方向復元力特性に関するもので、支承にせん断変形振幅が変化して作用した場合、又、複数回の繰り返し載荷が特性値にどのような影響を与えるかを確認するために行った。

b) 圧縮剛性試験

支承の機能としての基本的事項に関するもので、死荷重に対する安定性、活荷重などの変動荷重による鉛直方向の剛性を確認するためのものである。

- 静的載荷 — 死荷重に対する安定性
- 動的載荷 — 活荷重に対する剛性

尚、動的載荷は、本試験装置で可能な限りは早い速度での荷重載荷を行った。

(2) 試験条件と試験方法

a) 水平剛性 (KB)

試験条件としては、せん断歪振幅として

表-4に示す9ケースとし、その中に震度法によるLRB沓の設計変位に相当するひずみ振幅

(±1.8%)、又、道路橋支承便覧の地震時せん断ひずみの許容値(±1.50%)についても検討を加えた。

载荷サイクルとして、各振幅についてそれぞれ

4サイクル、载荷速度は $V = 1.6 \text{ mm/s}$ で行った。

試験方法は、内部ゴム総厚に対する表-4の変位により、各変位に対応する鉛直荷重を负荷した状態で交番水平変位を与え動的履歴特性を測定した。

この履歴曲線から水平剛性 (KB) を求めた。

b) 圧縮剛性 (KC)

(イ) 静的载荷 (死荷重に対する安定性)

表-5に、死荷重に対する安定性を確認するための静的圧縮剛性試験条件を示す。試験は、無载荷の状態から死荷重反力に相当する荷重 (237.9tonf) まで静的に鉛直荷重を载荷し、その時の変位を測定した。

同様に、死荷重反力20%増、20%減に相当する荷重の場合を測定し、それぞれの荷重-変位により圧縮剛性 (KC) を求めた。

(ロ) 動的载荷 (活荷重に対する剛性)

表-6に、動的圧縮剛性試験条件を示す。試験は、死荷重に相当する荷重 (237.9tonf) を载荷しておき、可能な限り早い速度で活荷重反力に相当する荷重を増減させ、その時の変位を測定した。次に同様に、活荷重10%増の荷重を载荷し、その時の変位を測定し、それぞれの荷重-変位より圧縮剛性 (KC) を求めた。

(3) 試験結果と考察

a) 水平剛性

本橋において地震時のLRB歪率は、±7%~±1.8%の範囲にある。

この範囲における $\frac{\text{実測値}}{\text{理論値}}$ は0.872~1.022

の増減率にあり許容値を十分満足していた。

又、大変形域上±2.5%~±1.50%においても1.015~1.120の範囲にあり、地震時の安全性は確保されるものと考え。表-7に試験結果を示す。図-10, 図-11に荷重-変位の代表的な履歴曲線を示す。何れもほぼ理想的なバイリニア型の履歴曲線を示しており、

この履歴曲線によって囲まれた面積に相当するエネルギーがLRBによって吸収されたことになる。

表-4 水平剛性試験条件

	ひずみ率	水平変位量	鉛直荷重
1	± 7 %	± 8 mm	237.9 ton
2	± 9 %	± 10 mm	237.9 ton
3	± 12 %	± 13 mm	237.9 ton
4	± 15 %	± 17 mm	237.9 ton
5	± 18 %	± 20 mm	237.9 ton
6	± 25 %	± 28 mm	237.9 ton
7	± 50 %	± 56 mm	237.9 ton
8	± 100 %	± 112 mm	237.9 ton
9	± 150 %	± 168 mm	237.9 ton

表-5 静的圧縮剛性試験条件

荷重条件	荷重 (tonf)
死荷重反力	237.9
死荷重反力 20%増	285.5
死荷重反力 20%減	190.3

表-6 動的圧縮剛性試験条件

荷重条件	荷重 (tonf)
死荷重反力	237.9
活荷重増減*	124.4 ~ 353.2
活荷重10%増*	374.1

注) *は可能な限り早い速度でおこなう。

表-7 水平剛性試験

		単位: tonf/m		
特性	設計値	許容範囲 (±20%)	実測値	
水平剛性 <KB>	± 7 %	8966	7172.8 ≤ KB ₁ ≤ 10759.2	7814.5
	± 9 %	7452	5961.6 ≤ KB ₂ ≤ 8942.4	6774.9
	± 12 %	6040	4832.0 ≤ KB ₃ ≤ 7248.0	5890.3
	± 15 %	4855	3884.0 ≤ KB ₄ ≤ 5826.0	4961.8
	± 18 %	4288	3430.4 ≤ KB ₅ ≤ 5145.6	4300.0
	± 25 %	3297	2637.6 ≤ KB ₆ ≤ 3956.4	3404.9
	± 50 %	1777	1421.6 ≤ KB ₇ ≤ 2132.4	1805.3
	± 100 %	838	670.4 ≤ KB ₈ ≤ 1005.6	938.8
	± 150 %	584	467.2 ≤ KB ₉ ≤ 700.8	642.0

b) 圧縮剛性 (KC)

表-8に試験結果を示す。実測値は、静的試験で1.011、理論値は、動的試験1.143であった。この結果から死荷重及び活荷重に対する安定性、剛性を確認することが出来た。又、鉛直方向の残留歪も0.2mm(静的)、0.5mm(動的)程度であり、使用に際し、特に問題はないものと判断した。図-12に、死荷重反力20%増、図-13に活荷重を増減した時の試験結果を示す。

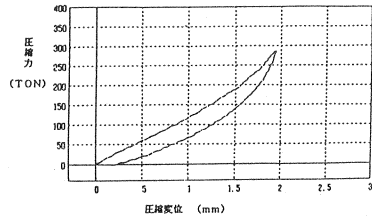


図-12 静的試験

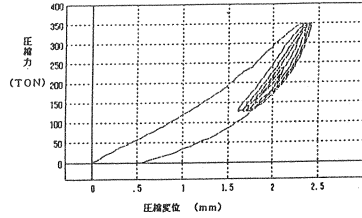


図-13 動的試験

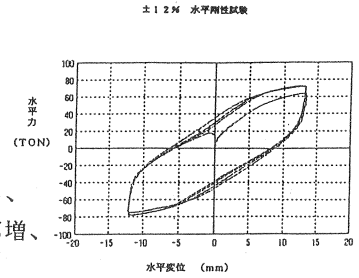


図-10 荷重-変位

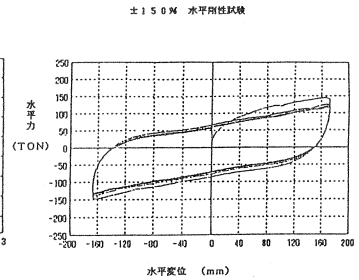


図-11 荷重-変位

5. あとがき

本試験は、LRB沓の地震時歪が小変形域及び大変形域でも、設計で想定した特性がそれぞれの歪レベルで得られるかどうか为目的の一つであった。その結果、いずれの歪レベルにおいても設計に用いた割線剛性は所期の範囲内にあり、鉛とゴムの基本的関係ならびにPC多径間連続桁への適用の妥当性が確認できた。

本橋は、平成4年3月に工事を無事完成し、現在、実際の地震を受けた場合の橋の挙動を調査すべく、上部工、橋脚に地震計測器を設置し、今後の橋梁計画の基礎資料を得るため追跡調査を行っている。本報告がPC橋の多径間化、将来の免震橋建設への参考となれば幸いである。

最後に本橋の設計・施工ならびに試験を実施するにあたり、多数の方々の御指導をいただいたことを、ここに、厚く御礼申し上げます。



写真-2 性能確認試験